УДК 624.131

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТОРФА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ СТЕПЕНИ ЕГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Т.Я. Емельянова, В.В. Крамаренко

Томский политехнический университет
E-mail: gige_ignd@mail.ru

Приведены сравнительные результаты изучения процесса разложения торфа в естественных условиях и при его хранении. Изучено влияние микрофлоры на скорость разложения торфов различных видов. Обосновывается выбор методик компрессионных и фильтрационных опытов в зависимости от изменения степени разложения торфа в процессе его хранения.

Скорость разложения торфа в естественных условиях зависит от микробиологических процессов, происходящих в залежи, видового состава растений-торфообразователей и внешних условий – температуры, обводненности массива и целого ряда других факторов. В неосушенной залежи распад органических остатков происходит медленно. Знание того, как протекают процессы разложения торфа, имеет большое значение при выборе методик проведения лабораторных исследований и хранения образцов. Согласно рекомендациям, изложенным в работе [1], срок хранения образцов торфа не должен превышать 3-х мес., и компрессионные испытания образца должны проводится вслед за отбором проб, пока не претерпели изменения их естественные свойства – структура, пористость, влажность.

При визуальном сравнении образцов торфа на месте отбора из болотных массивов с образцами, хранившимися в течение года в помещении, нами было выявлено, что в последних произошли существенные внешние изменения. Хранившийся в помещении торф приобрел более темную окраску, стал менее упругим, при растирании оставлял следы на руках. По-видимому, изменился состав торфа из-за распада органических остатков. В Сибирском научно-исследовательском институте торфа СО РАСХН по заказу лаборатории технологических исследований была определена степень разложения образцов, отобранных в сентябре 1995 г. на торфоместорождении "Согра" Колпашевского района Томской области и хранившихся год в помещении при комнатной температуре от 18 до 28 °С. Результаты исследований показали, что степень разложения древесно-осокового торфа увеличилась от 20...25 до 35 %.

Все это побудило авторов провести анализ имеющихся результатов по изучению процесса разложения

торфа в различных обстановках, что важно для выбора методик лабораторных анализов, так как многие его свойства тесно связаны со степенью разложения.

С целью изучения микрофлоры, как фактора разложения торфа при хранении в навалах и при заводнении выработанных торфяников, Н.А. Котом и Т.А. Рахубо проведен ряд опытов [2–4], результаты которых обобщены нами в таблице. Исследования группового состава микроорганизмов и их численности при длительном хранении сырого торфа (тростникового и осокового) [2] показали, что вследствие более оптимальных условий аэрации количество микроорганизмов в навале высотой 1,5 м значительно выше, чем в 10-ти см приповерхностном слое залежи (влажность и температура менялись незначительно). Особенно активно микрофлора развивается в первые месяцы хранения в верхнем полуметровом слое навала при изменении условий аэрации. При плотном сложении внутри торфа бактериальные процессы развиты слабо из-за низких содержаний O_2 и высоких CO_2 [2].

Для анализа микрофлоры Н.А. Кот и Т.А. Рахубо использовали "методику разведения почвенных суспензий в элективных средах. Учитывали: аммонифицирующие бактерии-аэробы – на мясо-пептонном агаре, споровые бактерии из пастеризированной почвенной суспензии – на смеси равных объемов мясо-пептонного и сусло-агара, бактерии, усваивающие минеральные формы азота при органическом источнике углерода, актиномицеты – на крахмало-аммиачном агаре, нитрифицирующие бактерии – на голодном агаре с аммонийно-магниевыми солями, олигонитрофилы – на среде Эшби, плесневые грибы – на подкисленном сусло-агаре, денитрифицирующие бактерии – на жидкой среде Гильтая" [2. С. 34].

Результаты опытов показали, что за год хранения торфа в навале количество микроорганизмов некоторых групп увеличивается в 3...5 раз, а для отдельных из них – на порядок по сравнению с торфом в естественном состоянии (таблица). Преобладают аммонифицирующие бактерии, которые начинают процесс разложения органического азота, олигонитрофильные микроорганизмы и микробы, усваивающие минеральный азот при органическом источнике углерода. Количество бактерий этих трех групп в навале значительно увеличено. Неспорообразующие аммонифицирующие бактерии участвуют в разрушении доступных форм органического вещества в торфах, а спорообразующие вступают в процесс на более поздних стадиях. В верхних слоях навала их количество достигает 250 тыс. на 1 г торфа, что свидетельствует об интенсивном распаде здесь органического вещества.

Что касается нитрификаторов, деятельность которых связана с окислением аммиачных форм азота в нитритные и нитратные, то их количество обусловлено интенсивностью аммонификации – чем больше нитрификаторов, тем меньше аммонификаторов. Нитрификация в сильноразложившемся торфе протекает медленнее (тростниковый торф), чем в среднеразложившемся и более богатом минеральным питанием (осоковый торф). Бактерий денитрификаторов, вызывающих разрушение азотнокислых солей с выделением газообразного азота, также значительно больше в навале [2].

Результаты анализа торфа, хранившегося один год в водонасыщенном состоянии в помещении, показали следующее [3]. Фускум и комплексный верховой торф значительно богаче микроорганизмами, чем ангустифолиум и особенно магелланикум. В последнем аммонификаторов в 3...5 раз меньше, чем в ангустифолиум-торфе и в 12...15, чем в фускум и комплексном верховом. Бактерий маслянокислого брожения, образующих газы, в комплексном и фускум-торфе в сотни раз больше, чем в магелланикум и ангустифолиум-торфе. Однако в них обнаружены газообразующие микроорганизмы, развивающиеся за счет разрушения белков и углеводов. Верховые затопленные торфа значительно беднее микрорганизмами, чем затопленные низинные. Так, в осоково-гипновом торфе аммонификаторов и олигонитрофилов в 7...9 раз больше, нежели в верховых торфах. В тростниковом торфе с глубины 0,5 м количество этих бактерий близко к содержанию их в верховых видах ангустифолиум и фускум-торфа (таблица).

При хранении образцов низинного осокового торфа в помещениях в водонасыщенном состоянии значительно увеличилось количество бактерий аммонификаторов, олигонитрофилов и усваивающих минеральный азот микоорганизмов. Споровых бактерий стало примерно в 5...9 раз больше, чем при хранении в навалах, число маслянокислых бактерий в обводненном торфе возросло более чем в 16 раз по сравнению с торфом в залежи и более чем в 5 раз по сравнению с торфом после года хранения в навалах.

Таким образом, имеет место быстрое разложение торфа при его хранении в навалах и в лабораторных условиях. Необходимо отметить, что изменение состава торфа может быть связано не только с увеличением степени его разложения, но и с исчезновением быстроразлагающихся растений-торфообразователей и поэтому возможны даже изменения видового состава торфа.

Одной из причин роста количества микроорганизмов, разлагающих органику, является механическое разрушение растительных остатков торфа. При фрезеровании торфа и при отборе его образцов на срезах волокон появляются дополнительные площади для развития микроорганизмов.

Эти процессы нельзя не учитывать при хранении и водонасыщении образцов, а также при проведении долговременных опытов. У всех видов торфа скорость разложения в лабораторных условиях разная, но, тем не менее, обычно не удается сохранить количественный и качественный состав микрофлоры, близкий к ее составу в торфах естественном залегании. Особенно характерно это для торфов слабой и средней степени разложения, способ-

ных к дальнейшему быстрому распаду. Максимальный рост количества микроорганизмов в торфах наблюдается в первые месяцы их хранения, с увеличением степени разложения он уменьшается. Как в естественном, так и в нарушенном состоянии наиболее подвержен разложению верхний (10 см) слой торфа, после 20...30 см глубины наблюдается некоторая относительная стабилизация количества микроорганизмов. В верховом затопленном торфе быстрее развиваются те микроорганизмы, которые разлагают белки и углеводы с выделением разнообразных продуктов метаболизма, вызывающих газообразование (метан, углекислый газ, сероводород) и всплывание торфа при обводнении. Из этого следует, что наиболее достоверны исследования деформационных и фильтрационных свойств торфов, проведенные в первые месяцы после отбора их проб. При длительном хранении торфа перед опытом следует убедится, что степень разложения образца не отличается от исходной, в обратном случае необходимо снять верхний разложившийся слой торфа. Наименее устойчивыми к разложению являются осоковые, пушицевые и шейхцериевые виды малоразложившегося торфа, которые необходимо исследовать в первую очередь.

В торфе в нарушенном и в обводненном состоянии быстро развиваются маслянокислые бактерии, особенно в сфагновых его видах. При фильтрации в лабораторных условиях с предварительным водонасыщением образцов бактерии вызывают газообразование, и как следствие, кольматацию пор с занижением коэффициентов фильтрации в начале опыта. В таких случаях при замерах необходимо убедится, что расход фильтрата не увеличивается во времени, в противном случае коэффициент фильтрации следует рассчитывать по максимальному его расходу. Проводить долговременные фильтрационные опыты также нецелесообразно.

Таблица. *Количество микроорганизмов в торфе — в залежах, в навале и при хранении водонасыщенных образцов торфа в помещении [2, 3]*

Условия хранения (залегания)	Глубина отбора проб, см	Вид и степень разложения торфа, D_{dp}, %	pH	Количество микроорганизмов тыс. на 1 г. абсолютно сухого вещества								
				Аммонификаторы-аэробы	Споровые бактерии	Микроорганизмы, использующие минеральные формы азота		Олигонитрофилы	Грибы	Нитрификаторы	Денитрификаторы	Маслянокислые бактерии
						Бактерии	Актиномицеты					
В помещении, в обводненном состоянии	0...15	Магелланикум, 10	3,6	40,2	16,4	108,9	3,0	44,8	15,6	Н/д	Н/д	2,4
	15...30	Ангустифолиум, 10...15	3,4	200,0	8,2	387,4	10,0	243,9	1,6	Н/д	Н/д	2,4
	30...50	Ангустифолиум, 35...40	3,5	122,0	4,4	366,2	5,9	127,9	0,4	Н/д	Н/д	6,7
	0...15	Комплексный верховой, 15	3,5	620,8	85,0	698,1	34,9	909,4	9,1	Н/д	Н/д	608,7
	15...30	Фускум, 15	3,8	550,4	30,2	712,4	21,9	797,4	7,6	Н/д	Н/д	320,5
	0...15	Осоково-гипновый, 25	6,1	1853,4	403,4	2745,7	301,7	3943,9	2,8	Н/д	Н/д	474,0
	15...30	Осоковый с гипновыми мхами, 40	5,9	1876,1	393,6	2676,7	34,2	2076,9	2,0	Н/д	Н/д	470,0
	30...50	Тростниковый, 40	6,4	252,2	17,4	660,9	17,4	412,9	0,9	Н/д	Н/д	60,9
В залежи	0...10	Тростниковый, 40	Н/д	585,0	40,0	797,0	220,0	991,0	0,6	0,5	221,0	8,0
	30...50			94,7	6,4	83,9	10,5	158,0	0,3	0,6	19,1	5,1
В навале	0...10		Н/д	1965,0	180,0	2797,0	682,0	4971,0	20,0	1,0	405,0	405,0
	30...50			1148,0	89,0	1070,0	320,0	2010,0	11,4	3,0	183,0	140,0
В залежи	0...10	Осоковый, 25...40	Н/д	123,0	0,4	294,0	50,0	208,0	0,2	4,3	7,0	1,7
	30...50			167,0	6,4	264,0	42,8	812,0	0,6	2,2	22,7	30,0
В навале	0...10		Н/д	1345,0	4,6	203,0	116,0	2870,0	7,3	22,7	69,6	29,7
	30...50			303,0	66,4	1021,0	623,0	2410,0	3,5	10,4	70,3	85,5

Примечание: Н/д — нет данных

Кроме того, газообразование также препятствует водонасыщению и, следовательно, влияет на показатели полной влагоемкости. Во избежание этого взвешивать образцы лучше всего после фильтрации, а водонасыщение проводить не более 1–2 сут.

Процессы разложения торфа происходят также при компрессионных испытаниях, длящихся 1–2 года. В работе П.А. Коновалова [5] особое внимание уделяется этим процессам и их влиянию на самоуплотнение заторфованных грунтов. Автор отмечает, что скорость разложения торфа особенно высока в течение первых трех-шести месяцев, причем в аэробных условиях (как в заторфованных песчаных, так и в глинистых грунтах), была выше на 10...20 %, чем в анаэробных. За 2 года в заторфованных глинистых и песчаных грунтах при аэробных условиях подверглось распаду соответственно 56 и 70 % органических веществ, а в анаэробных только 45 и 56 %. В дальнейшем скорость распада органических веществ снижается из-за образующихся органических кислот, значительно замедляющих этот процесс. П.А. Коновалов рекомендует учитывать добавочную пористость, образующуюся при разложении торфов, для прогноза осадки грунтов в результате их гумификации. М.П. Петровым и П.А. Костычевым [5] установлено, что оптимальная температура для активной жизнедеятельности большинства бактерий составляет 32...36 °С при влажности 60...80 % от полной влагоемкости. Однако, даже при температуре от –2 до –5 °С процесс разложения торфа продолжается.

Следовательно, если компрессионные испытания длятся 1–2 года при комнатной температуре то, образец торфа в итоге будет иметь другие степень разложения и физико-механические свойства, чем во время его отбора. По-видимому, процессы разложения органического вещества в значительной мере обусловливают длительность опыта. Учет этих процессов необходим при выборе методов проведения опытов, и поэтому оценка сжимаемости торфяных грунтов возможна только по результатам ускоренных испытаний. Существует несколько методов проведения этих компрессионных испытаний. Некоторые из них включают элементы длительных опытов, используемые для корректировки осадки торфа в ускоренный период опыта. Эти методы, на наш взгляд, не дают необходимой точности, так как осадка в длительный период опыта связана отчасти с разложением органической части торфа.

Таким образом, наиболее приемлемы ускоренные компрессионные испытания с применением экстраполяции консолидационных кривых. В работе [1] рекомендуется для сокращения времени испытания закончить опыт, когда экспериментальные точки консолидационной кривой, построенной в полулогарифмическом масштабе, укладываются на прямую. Далее указанную прямую экстраполируют до тех пор, пока интенсивность деформации будет не менее 0,02 мм/сут. Осадку, соответствующую моменту достижения этой интенсивности, принимают за конечную. Время (t) достижения интенсивности осадки 0,02 мм/сут может быть рассчитано по формуле [1]:

$$t=0{,}43m_p h_o/0{,}02,$$

где 0,43 – коэффициент перехода от десятичного логарифма к натуральному, m_p – консолидационный параметр, h_o – начальная высота образца, мм, 0,02 мм/сут – заданная интенсивность осадки. Этот метод наиболее достоверен, так как консолидационные кривые получены ускоренным способом и построены по опытным данным, поэтому именно он выбран нами для проведения анализа [6].

В естественных условиях разложение торфа происходит несравнимо медленнее. По нашим данным, температура торфа осушенной залежи в приповерхностном слое, где в основном и происходят процессы его разложения, летом редко превышает 5...10 °С, значительная обводненность и длительное промерзание залежей также отрицательно сказываются на росте количества микроорганизмов. Микрофлора активно развивается до глубины первых десятков см, а далее – торфяные воды, а следовательно, и торф почти стерильны [7]. Прирост торфа в Томской области составляет в среднем до 0,8 мм/год (в южной тайге) [8]. Верхний слой торфа постепенно перемещается из зоны активного разложения, перекрываясь новыми образованиями, что замедляет процесс разложения органических остатков.

В итоге следует отметить, что учет скорости разложения торфа необходим при выборе методик изучения его механических свойств. На наш взгляд, для изучения деформационных свойств торфа оптимальнее применять ускоренные испытания с применением экстраполяции консолидационной кривой до заданной интенсивности осадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (к СНиП 2.05.02-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 192 с.
2. Кот Н.А., Рахубо Т.А. Микрофлора биологически активного торфа // Торфяная промышленность. – 1990. – № 7. – С. 33–37.
3. Кот Н.А., Рахубо Т.А. Микрофлора затопленного верхового торфа // Торфяная промышленность. – 1981. – № 6. – С. 24–25.
4. Кот Н.А., Рахубо Т.А. Микрофлора торфяных отвалов // Торфяная промышленность. – 1986. – № 3. – С. 15–17.
5. Коновалов П.А. Устройство фундаментов на заторфованных грунтах. – М.: Стройиздат, 1980. – 160 с.
6. Емельянова Т.Я., Крамаренко В.В. Характеристика и прогнозирование деформационных свойств торфяных грунтов (на примере Томской области) // Геоэкология. – 2004. – № 3. – С. 251–256.
7. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
8. Львов Ю.А. Болотные ресурсы // Природные ресурсы Томской области / Под ред. И.М. Гаджиева, А.А. Земцова. – Новосибирск: Наука, 1991. – 176 с.